

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①⑪ N° de publication :

2 797 313

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national :

00 10316

⑤① Int Cl⁷ : F 16 C 3/02, B 60 K 17/22, B 32 B 1/08

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 04.08.00.

③⑦ Priorité : 05.08.99 JP 99222982.

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 09.02.01 Bulletin 01/06.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : NTN CORPORATION — JP et MIT-
SUBISHI RAYON KABUSHIKI KAISHA — JP.

⑦② Inventeur(s) : NAKAJIMA TATSUO, KODAMA
HITOSHI et TAKANO TSUNEO.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : CABINET HERRBURGER.

⑤④ ARBRE DE TRANSMISSION DE PUISSANCE.

⑤⑦ Arbre de transmission de puissance utilisé pour des
véhicules et comportant des éléments de liaison métalliques
et un tube en métal reliés les uns aux autres. Un tube en
plastique renforcé par des fibres à fort module d'élasticité en
torsion est inséré dans le tube en métal pour former un arbre
composite en plastique FRP ayant une rigidité suffisante en
torsion pour constituer un arbre de transmission de puissance.

FR 2 797 313 - A1



Arrière plan technologique de l'invention :

La présente invention concerne un arbre de transmission de puissance et plus particulièrement des arbres d'hélice et des arbres d'entraînement pour des transmissions
5 de véhicules automobiles.

Les arbres de système de transmission de puissance d'un véhicule incluent un arbre pour transmettre la puissance de la boîte de vitesses vers le réducteur et une partie d'arbre pour relier le moteur au moyeu. Les arbres ou
10 parties d'arbre comportent à leurs extrémités, des joints universels permettant des variations de longueur et d'angle liées à la variation de position relative entre la boîte de vitesses et le réducteur ou entre le moteur et les moyeux.

La figure 9 est une vue globale d'ensemble extérieur d'un arbre d'entraînement 1 selon l'art antérieur. Les
15 éléments de liaison mécaniques ou éléments d'arbre 3, 4 sont reliés aux deux extrémités d'un arbre intermédiaire 2. Les arbres 3, 4 sont adaptés aux éléments de jonction intérieurs de joints à vitesse constante 5, 6 par une liaison à clavette
20 ou à denture. Les figures 10A, 10B montrent un arbre intermédiaire de l'arbre d'entraînement. La figure 10A montre un arbre intermédiaire 7 sans amortisseur dynamique et la figure 10B montre un arbre intermédiaire 8 avec un amortisseur dynamique 9 pour absorber les vibrations. Selon l'art antérieur,
25 on utilise généralement des arbres en acier pleins ou creux comme arbres intermédiaires 2 de l'arbre d'entraînement 1 et comme arbres intermédiaires 7, 8 de l'arbre de transmission.

Actuellement, du point de vue de la rigidité en torsion, les arbres de transmission de puissance, de grande
30 longueur, sont réalisés en acier et doivent être divisés et comporter des paliers pour porter chaque partie intermédiaire ou être équipés d'un amortisseur dynamique en position intermédiaire. Dans ces conditions, il faut perfectionner les arbres généralement pour réduire leur poids, leur coût ou
35 réaliser les perfectionnements analogues.

Par exemple, il a été suggéré d'utiliser un tube en matière plastique renforcée par des fibres (appelé en abrégé tube « FRP ») et ayant une résistance spécifique éle-

vée. Toutefois, les parties de jonction ne peuvent pas être réalisées en plastique FRP en une seule pièce à cause des problèmes de rigidité et de résistance, de sorte que l'on relie des éléments de liaison métalliques aux parties d'extrémité du tube en plastique FRP. Pour relier les éléments de liaison, on frette des manchons de liaison métalliques ou on les colle à l'extrémité du tube en plastique FRP.

Le document Sho 55-118831 décrit un procédé consistant à insérer des éléments de liaison métalliques dans un tube en plastique FRP, puis d'enrouler le tube en liaison avec les éléments de jonction en utilisant des fibres continues imprégnées de résine.

En variante, le document Sho 63-19 9914 décrit un procédé selon lequel les parties adaptées des éléments de jonction métalliques ont une forme à section non circulaire et ainsi les extrémités ouvertes de l'arbre sont chauffées à une température supérieure à la température de transition vitreuse ; puis, les parties d'extrémité sont frettées dans les parties adaptées des éléments de jonction. On utilise également d'autres procédés de liaison pour assurer la résistance des parties de jonction et permettre la transmission du couple. Selon de tels procédés, la section des parties d'extrémité d'arbre ont une forme polygonale ou les surfaces de jonction par lesquelles les parties d'extrémité d'arbre creux de chevauchement prennent une forme grossière par sertissage ou analogue.

En variante, on frette un arbre creux en plastique FRP et on emmanche de force les parties métalliques dans la partie centrale de l'arbre creux pour les relier aux éléments de jonction. De plus, on connaît différents procédés pour conserver la résistance des parties de jonction dans le cas d'un collage entre les surfaces de contact des parties d'extrémité d'un arbre creux en plastique FRP et de pièces métalliques. Ces procédés consistent à combiner le collage et à rendre les surfaces grossières, à les sertir ou fretter.

Toutefois, les procédés connus présentent des difficultés ; les parties d'extrémité d'arbre sont usinées avec difficulté ou le diamètre extérieur de l'arbre doit être

augmenté pour garantir la résistance des éléments de jonction. De plus, un moyen supplémentaire est prévu pour éviter que les éléments de jonction ne se dégagent de l'arbre dans la direction axiale, pour garantir la fiabilité.

5 Le procédé de serrage d'un arbre creux en plastique FRP présente un inconvénient grave de manque de fiabilité à long terme. Ce procédé peut se traduire par le glissement le long de la périphérie ou le dégagement de l'arbre dans la direction axiale par suite d'une diminution de la force de liaison, lorsque l'arbre est fretté ; cette diminution peut
10 être provoquée par un effet de rampage ou de relaxation des contraintes de la partie en plastique FRP. En particulier dans le cas d'un arbre d'entraînement, on peut avoir de nombreux arbres qui n'offrent pas de capacité suffisante de transmission de couple pour respecter les conditions imposées
15 pour un couple excessif. On a également rencontré des difficultés dans l'utilisation d'un arbre creux en plastique FRP comme arbre intermédiaire d'un arbre de transmission de puissance, pour réduire le poids, la consommation de carburant, le coût et les vibrations et les bruits. En effet, on ne peut
20 donner à cet arbre un diamètre suffisant, car autour de l'emplacement du montage de l'arbre, on ne dispose pas de place suffisante dans le véhicule.

Résumé de l'invention :

25 Tenant compte des problèmes développés ci-dessus, la présente invention a pour but de développer un arbre de transmission de puissance ayant des éléments de jonction très fiables, offrant une grande rigidité (à la fréquence de torsion naturelle), étant léger et d'un faible coût pour répondre aux exigences évoquées ci-dessus.
30

 A cet effet, l'invention résout ce problème par un arbre de transmission de puissance composé d'un tube en métal et d'éléments de liaison métalliques, caractérisé en ce qu'il comporte un tube en plastique renforcé par des fibres,
35 inséré dans le tube en métal.

 L'arbre selon l'invention offre une grande rigidité et sa longueur peut être plus grande grâce à l'interposition d'un tube creux en plastique FRP ayant une

grande rigidité à la torsion, et qui est logé dans le tube métallique. De plus, les perfectionnements concernant la rigidité de l'arbre évitent la nécessité d'un palier de support ou d'un amortisseur dynamique en partie intermédiaire, alors
5 que ces éléments sont généralement nécessaires pour un arbre long ; on peut ainsi réduire le poids et le coût de l'arbre. De plus, du point de vue de la matière, il est intéressant de réduire le poids de l'arbre en utilisant à la fois un tube en métal et un tube en plastique FRP.

10 Comme le tube en plastique FRP est inséré dans le tube métallique pour former un arbre composite, les parties en métal constituent les éléments de liaison aux extrémités de l'arbre. Cela donne à l'arbre une résistance suffisante pour des efforts de cisaillement même importants et transmet-
15 tre ainsi le couple avec une grande fiabilité. Des procédés de liaison parfaits et fiables peuvent s'utiliser tels que le soudage ou le soudage par friction d'éléments de liaison métalliques donnant un tube métallique. En conséquence, il n'y a aucun inconvénient de glissement le long de la périphérie
20 du tube ou de dégagement par glissement dans la direction axiale ; les éléments de liaison présentent ainsi une fiabilité à long terme.

Les couches de plastique FRP peuvent être introduites dans le tube métallique avec des angles d'alignement
25 des fibres de 0 et +/- 45 degrés par rapport à la direction axiale du tube métallique, par un empilage alterné. Cela est intéressant, car cela permet de régler la rigidité en flexion et la rigidité en torsion. En variante, la rigidité en flexion et en torsion et la résistance au flambage peuvent se
30 régler par la longueur du tube en plastique FRP à insérer dans le tube métallique, par le rapport de l'épaisseur de paroi du tube métallique et celle du tube en plastique FRP, du module d'élasticité des fibres de renforcement utilisées ainsi que de caractéristiques analogues.

35 Il est préférable d'utiliser une matière à faible densité et à fort module d'élasticité pour les fibres du tube en plastique FRP pour avoir une fréquence de torsion naturelle élevée de l'arbre composite. De telles fibres compren-

nent des fibres de type PAN, des fibres en carbone calibrées, des fibres en carbure de silicium, des fibres en alumine, des fibres en bore, des fibres en verre, des fibres para-aramides par exemple des fibres en Kevlar (marque déposée par Du Pont) ou des fibres métalliques (acier, alliage d'aluminium, alliage de titane, cuivre et tungstène).

Le module de traction des fibres de renforcement utilisées est de préférence supérieur à 20000 kgf/mm^2 (196 GPa) et plus particulièrement non inférieur à 25000 kgf/mm^2 (245 GPa). Si le module de traction des fibres de renforcement est inférieur à 20000 kgf/mm^2 (196 GPa), il est impossible d'avoir une fréquence de torsion naturelle élevée pour l'arbre pour n'importe quel angle d'alignement des fibres dans la matière plastique FRP.

Des fibres de carbone de type PAN s'utilisent de préférence avec un diamètre de fibre non inférieur à $1 \mu\text{m}$ et non supérieur à $20 \mu\text{m}$; il est particulièrement intéressant que le diamètre ne soit pas inférieur à $5 \mu\text{m}$ et non supérieur à $8 \mu\text{m}$. Les fibres de diamètre inférieur à $1 \mu\text{m}$ sont plus coûteuses comme matière première ou comme fibres acryliques et rendent plus difficile le réglage de la cuisson et du traitement des fibres pour donner des fibres de carbone. Cela augmente le coût des fibres et rend ainsi impossible la réalisation d'arbre peu coûteux. De plus, les fibres d'un diamètre de $20 \mu\text{m}$ et plus ne peuvent être des fibres ayant un module d'élasticité élevée.

Si l'on utilise des fibres de carbone à base de pas calibrées, on utilise de manière préférentielle des fibres de carbone calibrées à base de pas mésophase, longues et à fort module d'élasticité.

Il est également possible de combiner deux ou plusieurs types de fibres différentes pour réaliser un arbre peu coûteux. En particulier, on peut utiliser des fibres à fort module d'élasticité spécifique pour avoir une réduction plus efficace du poids et réaliser un arbre de transmission. Cela signifie que des fibres de type PAN sont de préférence des fibres de carbone calibrées mésophase, à résistance spécifique élevée, et ayant un module d'élasticité spécifique

important. Toutefois, il est également possible d'utiliser une hybridation des fibres de carbone, c'est-à-dire des fibres de carbone et des fibres de verre pour réduire les coûts.

5 Les fibres sont tirées pour avoir une paroi mince et un grand diamètre. Cela signifie qu'il est possible de fabriquer efficacement un corps à section uniforme analogue à celle d'un tube en imprégnant les fibres avec une matrice de résine prédurcie, puis en cuisant en continu les faisceaux pendant leur enroulement. On peut former le tube en plastique FRP par avance, en utilisant le procédé d'enveloppement par feuilles. Toutefois dans certains cas, le procédé de pultrusion est avantageux du point de vue coût pour réduire de manière significative le coût en matière et de fabrication. On
10 peut réaliser un tube en plastique FRP ayant une configuration de couches empilées par enveloppement ; toutefois le nombre de couches est de préférence égal ou inférieur à 20. En effet si l'on cherche à réaliser un corps formé de 20 couches empilées et plus, le travail préparatoire est très compliqué et cela réduit le rendement d'une fabrication en
15 série.

Il est également possible de réaliser un arbre composite en frettant un tube en plastique FRP, dans un tube métallique (voir les figures 2A-5D et 8A-8D). Le tube plastique FRP peut avoir une fente (intervalle ou nervure) 21, 22
25 sur une partie de sa périphérie (voir figures 3A-5D, 7A, 7B) ou encore en étirant le tube pour lui donner une forme en section irrégulière, avec des rainures peu profondes constituant des points de collage.

30 Dans le cas d'un tube en plastique FRP 20A ayant une fente 21 dans la direction axiale que l'on introduit dans un tube métallique 10 comme représenté aux figures 3A-3E, la déformation élastique est facile dans une plage de largeur W de la fente selon la périphérie (voir figures 3D-3E). Cela
35 rend beaucoup plus facile l'incorporation d'un tube en plastique FRP 20A dans le tube métallique 10 par comparaison au cas d'un simple tube en plastique FRP sans fente, fretté dans le tube métallique. Du fait des tolérances dimensionnelles du

diamètre extérieur du tube FRP et du diamètre intérieur du tube métallique, il est nécessaire d'adapter les dimensions respectives, l'une à l'autre pour régler la pression de frettage du procédé utilisant un simple tube cylindrique. Au contraire, le tube en plastique FRP 20A avec la fente 21 peut être introduit dans le tube métallique 10 sans nécessiter un tel procédé pour adapter les dimensions respectives l'une à l'autre et en appliquant seulement une faible pression de frettage.

La largeur de fente W est de préférence non inférieure à 0,01 % et non supérieure à 40 % en largeur par rapport à la périphérie extérieure du tube en plastique FRP à l'état naturel. Dans certains cas, si la largeur de la fente W était inférieure à 0,01 % du tube en plastique FRP, il serait nécessaire d'adapter les dimensions respectives l'une à l'autre, même si le tube en plastique FRP était déformé élastiquement le long de la périphérie. Au contraire, si la largeur W de la fente est supérieure à 40 % de la périphérie extérieure du tube en plastique FRP, on rencontre une difficulté dans certains cas, car le tube en plastique FRP se balancera à cause de la perte d'équilibre au moment de sa rotation à des vitesses élevées. Aucune limitation n'est imposée à la forme de la section de la fente. Il est évident qu'il est préférable que la fente puisse être formée en continu au moment de l'étirage. De plus, le tube en plastique FRP peut être réalisé au préalable, puis recevoir la fente par une opération d'usinage.

Si la fente est réalisée en continu au moment du tirage du tube, la fente 20 peut être réalisée sur le tube en plastique FRP 20B avec un angle d'inclinaison égal à θ par rapport à la direction axiale comme le montrent les figures 4A-4C. Dans ce cas, l'angle θ est de préférence de l'ordre de ± 30 degrés. Une fente avec un angle d'inclinaison θ supérieur à 30 degrés n'améliorerait pas la rigidité en torsion de l'arbre composé, même si l'arbre recevait un tube en plastique FRP renforcé par des fibres à fort module d'élasticité. Cela est lié aux faisceaux de fibres qui s'aligneraient dans la direction de la fente.

Le diamètre à l'extérieur du tube en plastique FRP avec une fente peut être réalisé à un diamètre plus grand que le diamètre intérieur du tube métallique pour que le diamètre extérieur apparent puisse être inférieur au diamètre intérieur du tube métallique lorsque le tube en plastique FRP est déformé élastiquement (lorsqu'il est contracté en diamètre) le long de la périphérie par la largeur de la fente. Dans ces conditions, le rapport D_1/D_2 est de préférence supérieur à 1, mais ne dépasse pas 1,3 ; dans ce rapport (figure 3D) D_1 est le diamètre du tube en plastique FRP avec la fente, et D_2 (figure 1A) est le diamètre intérieur du tube métallique. Si le rapport D_1/D_2 est égal ou inférieur à 1, le diamètre extérieur du tube en plastique FRP ne pourra être supérieur au diamètre intérieur du tube métallique, si bien qu'il aura un espace entre les deux tubes. Au contraire pour un rapport D_1/D_2 supérieur à 1,3, le tube en plastique FRP pourrait se contracter en dessous de la région de déformation élastique conduisant à une situation de défauts tels que des fissures ou analogues. Après insertion du tube en plastique FRP dans le tube en métal, le tube en plastique FRP se dilate dans le tube métallique en revenant jusqu'au diamètre extérieur de formation. La force ainsi engendrée bloque le tube en plastique FRP dans le tube en métal en fonctionnant comme une force de compression au niveau des surfaces limites entre le tube en métal et le tube en plastique FRP. Cette force de blocage fonctionne de manière très avantageuse lors de l'étirage du tube en métal, ou lorsqu'on utilise le procédé de collage.

Le tube en plastique FRP peut être inséré dans le tube en métal, puis on peut réaliser une déformation plastique du tube en métal. Par exemple, en étirant le tube pour contracter son diamètre, on bloque ainsi le tube en plastique FRP. La figure 2C montre la partie de diamètre contractée correspondante portant la référence 11.

On peut utiliser un adhésif pour bloquer le tube en plastique FRP dans le tube en métal. Toutefois dans certains cas le frettage d'un simple tube cylindrique dans un tube similaire provoque le raclage de l'adhésif lors du fret-

tage du tube en plastique FRP, de sorte qu'il n'y aura pas de couche adhésive à la région limite entre le tube en métal et le tube en plastique FRP. Pour résoudre ce problème, on peut réaliser dans le tube en plastique FRP, dans ses parties de

5 périphérie extérieure, des portions avec des zones adhésives 24 (figure 5D) entre le tube en métal et le tube en plastique FRP, après mise en place du tube en plastique FRP. Des formes caractéristiques de telles portions sont par exemple des rainures axiales 23 (figures 5A-5D), des rainures périphériques

10 25 (figure 7A) et des parties en forme de cavités 26 (figure 7B). De plus, comme indiqué ci-après, des parties constituant des zones adhésives 13 après incorporation du tube en plastique FRP peuvent être réalisées de manière plastique par avance dans la partie périphérique intérieure du tube en métal

15 tal (figure 8).

De manière générale, il n'y a aucune limite aux adhésifs utilisés dans la mesure où ceux-ci permettent au métal de coller au plastique FRP. Par exemple pour les adhésifs servant à coller le métal au plastique FRP, il y a ceux décrits dans le document « SETTYAKU NO KAGAKU TO JISSAI » publié par Kabushiki Kaisha Kobunshi ou dans le document « KOSEINOU WO UMU SETTYAKUZAI ERABI » publié par Kabushiki Kaisha Gijustsu Hyoronsha. Toutefois un adhésif plus intéressant est un adhésif de structure selon lequel une poudre

20 d'aluminium ou une poudre d'oxyde de fer est contenue dans un adhésif à base époxy, à solvant, permettant un soudage par résistance tel qu'un soudage par points. Si l'équilibre des composants est corrigé ultérieurement dans le procédé, on peut souder les pièces sur les arbres, sans difficulté, si

25 l'on a utilisé pour les arbres des adhésifs autorisant cette soudure. Pour la prise des adhésifs, on peut utiliser la chaleur disponible au moment de la cuisson de la peinture au moment où la partie périphérique extérieure du tube métallique est mise en température.

35 Il n'y a pas de limite particulière fixée pour les résines thermodurcissables utilisables pour la matrice du tube en plastique FRP. De manière générale, de telles résines à caractéristique de thermodurcissage peuvent être utilisées

comme une résine époxy, une résine phénolique, une résine de polyester non saturé, une résine ester vinylique, une résine d'uréthane, une résine de xylène, une résine de mélamine, une résine de silicone, une résine de polyimide ou analogues.

- 5 Toutefois du point de vue de la résistance mécanique, on utilise de préférence une résine époxy.

- Si l'on utilise une résine époxy pour la matrice, après prise de cette résine, on prévoit de préférence une résistance en température ou une température de transition vi-
- 10 treuse non inférieure à 60°C, ou mieux non inférieure à 80°C. Si l'arbre est utilisé comme arbre de transmission de véhicule, la température atmosphérique augmente jusqu'à environ 60°C. Ainsi, si la résine époxy est durcie à une température inférieure 60°C, on peut rencontrer des difficultés sérieuses
- 15 telles qu'un endommagement de l'arbre, de sorte qu'une telle résine époxy ne peut s'utiliser comme matrice. Il est également possible d'utiliser une résine époxy reformée dont la résistance à l'impact est obtenue par dispersion de particules de caoutchouc dans la résine époxy, pour former une con-
- 20 figuration à îlots ou une résine époxy modifiée dont les chaînes principales ou les chaînes latérales ont une structure chimique modifiée. Dans ces conditions, on peut donner les caractéristiques d'amortissement à la structure de l'arbre de transmission de puissance ainsi fabriqué. De plus,
- 25 il est également possible d'utiliser une résine époxy à conductivité déterminée par dispersion de charge conductrice telle que du noir de carbone ou des particules métalliques dans la résine époxy.

- Il est également possible d'améliorer la résis-
- 30 tance de la surface limite entre la matrice et les fibres en procédant de la manière suivante. On active la surface de la fibre de renforcement par un traitement oxydant avec de l'ozone ou en éclairant la surface avec de la lumière ultraviolette. En variante, on peut utiliser un procédé humide
- 35 avec un agent de couplage à base de silane ou de titane pour améliorer l'affinité. De plus, des sites très réactifs peuvent être formés à la surface des fibres pour améliorer l'adhésion brutale en formant des liaisons chimiques avec la

résine de la matrice thermodurcissable après prise de la résine.

Aucune limite particulière n'est imposée au type de métal constituant le tube en métal dans la mesure où le métal permet des usinages tels que le perçage, le soudage, le soudage par friction ou le fretage. Les métaux utilisés de préférence sont le fer, l'aluminium, le cuivre, le titane, le tungstène, le nickel. On peut également envisager des alliages de ces métaux.

Les dimensions de l'arbre composé formé d'un tube métallique et d'un tube en plastique FRP sont déterminées par la fréquence de torsion naturelle nécessaire à un arbre de transmission de puissance. Pour chercher à satisfaire la fréquence de torsion naturelle, si l'on utilise seulement des tubes en métal, on aurait des arbres de plus grand diamètre et qui seraient plus lourds. Dans ces conditions, par exemple l'épaisseur de paroi du tube en métal peut être conçue pour respecter uniquement les conditions de résistances statiques en torsion. Ainsi, on peut insérer un tube en plastique FRP ayant un grand module d'élasticité dans le tube en métal pour satisfaire à la fréquence de torsion naturelle nécessaire pour la périphérie extérieure du tube en métal. Ainsi, on peut diminuer le diamètre extérieur et avoir un arbre plus léger.

Les dimensions du tube en métal sont de préférence non inférieures à 100 mm et non supérieures à 6000 mm en longueur, et de manière préférencielle non inférieures à 200 mm et non supérieures à 6000 mm. Un tube en métal de longueur inférieure à 100 mm et de diamètre satisfaisant aux résistances de torsion statiques donnera une rigidité suffisamment élevée, si bien qu'il ne nécessitera pas de tube en plastique FRP qui serait inséré dans ce tube en métal. Un tube en métal de longueur supérieure à 6000 mm pourrait difficilement se monter dans un véhicule, même s'il s'agit d'un camion.

De plus, la longueur axiale du tube en plastique FRP à insérer dans le tube en métal doit de préférence respecter la condition selon laquelle le rapport FL/PL n'est pas

inférieur à 0,1 et non supérieur à 1,0, rapport dans lequel PL est la longueur du tube en métal (figure 1A) et FL est la longueur du tube en plastique FRP (figure 1B). Si la valeur du rapport FL/PL est inférieure à 0,1, il est difficile d'assurer la rigidité en torsion nécessaire même si l'arbre est muni d'un tube en plastique FRP à fort module d'élasticité. Si la valeur du rapport FL/PL est supérieure à 1,0, le tube en plastique FRP est plus long que le tube en métal. Cela signifie que le procédé de liaison métal/métal ne peut s'utiliser au moins à une extrémité de l'arbre composé, obtenu, ce qui est difficile à admettre.

L'épaisseur de la paroi du tube métallique est de préférence non inférieure à 1 mm et non supérieure à 10 mm. Les tubes en métal d'une épaisseur de paroi inférieure à 1 mm peuvent être endommagés pendant le transport ou pendant l'insertion du tube en plastique FRP. De plus, il est difficile de réaliser un tel diamètre intérieur et une épaisseur de paroi du tube métallique satisfaisant seulement à la résistance de torsion statique que doit nécessairement présenter un arbre de transmission de puissance d'un véhicule. Une telle conception aboutirait à une augmentation du diamètre du tube même pour un tube satisfaisant. Des tubes en métal d'épaisseur de paroi supérieure à 10 mm seraient trop lourds pour servir d'arbres de véhicules automobiles et ne permettraient pas de satisfaire à l'objectif d'une réduction de poids de l'arbre. Le diamètre extérieur du tube métallique ne doit pas être inférieur à 10 mm et non supérieur à 250 mm ; il est de préférence non inférieur à 15 mm et non supérieur à 230 mm ; de manière plus particulière, il n'est pas inférieur à 20 mm et non supérieur à 200 mm. Les tubes métalliques de diamètre extérieur inférieur à 10 mm, utilisés dans un véhicule automobile ne permettent pas de transmettre un couple satisfaisant même si un tube en plastique FRP est inséré dans le tube en métal. De plus des tubes de diamètre extérieur supérieur à 250 mm créeraient un problème d'encombrement important puisqu'ils interviendraient au niveau d'autres parties du véhicule.

Le rapport t_2/t_1 est de préférence supérieur à 0,01 et inférieur à 10, t_1 étant l'épaisseur de la paroi du tube en métal (figure 1A) et t_2 l'épaisseur de la paroi du tube en plastique FRP (figure 1B). Pour des valeurs du rapport t_2/t_1 inférieures à 0,01, il est difficile de respecter une rigidité en torsion pour la fréquence de torsion naturelle nécessaire, même si l'arbre reçoit un tube en plastique FRP à fort module d'élasticité. Pour une valeur du rapport t_2/t_1 supérieure à 10, on peut améliorer la rigidité en torsion par insertion d'un tube en plastique FRP. Mais dans ce cas, cela augmenterait le coût de fabrication à cause de l'augmentation relative de la quantité de plastique FRP à utiliser.

En fait, les arbres de transmission de puissance obtenus de cette manière présentent une résistance en torsion fiable et une résistance de liaison suffisante pour des véhicules ; ces arbres sont légers et compacts. De plus comme la partie de périphérie extérieure est une surface métallique, on peut réaliser l'équilibrage et la peinture selon les procédés actuels. En outre, au moment de la mise en route effective des véhicules, l'arbre présente ainsi les mêmes caractéristiques de résistance au piquage (caractéristiques de résistance à l'abrasion) et de résistance à la corrosion par l'eau salée que celles des arbres d'hélices actuels. En particulier, si l'on réalise le tube en plastique FRP en l'étirant, on obtient un arbre de transmission de puissance peu coûteux par comparaison à ceux obtenus par le procédé d'enveloppement. C'est pourquoi le procédé d'enveloppement de feuilles préimprégnées, de feuilles rétractées, de l'enveloppement de bandes rétractées, ou le procédé de prise avec préimprégnation (traitement thermique) peuvent alors être supprimés.

Description résumée des dessins :

- la figure 1A est une vue en perspective d'un tube en métal,
- la figure 1B est une vue en perspective d'un tube en plastique FRP,

- la figure 2A est une vue en perspective d'une étape de frettage d'un tube en plastique FRP dans un tube en métal,
- la figure 2B est une vue en perspective montrant un tube en métal dans lequel un tube en plastique FRP a été frété,
- 5 • la figure 2C est une vue en perspective montrant un tube en métal dont les deux extrémités ont été étirées,
- la figure 3A est une vue en perspective d'un tube en plastique FRP muni d'une fente,
- 10 • la figure 3B est une vue en perspective d'une étape au cours de laquelle un tube en plastique FRP est frété dans un tube en métal,
- la figure 3C est une vue en perspective d'un tube en métal dans lequel a été frété un tube en plastique FRP,
- la figure 3D est une vue de bout d'un tube en plastique FRP avec une fente, l'ensemble étant à l'état naturel,
- 15 • la figure 3E est une vue en bout d'un tube en plastique FRP avec une fente dont le diamètre est à l'état contracté,
- la figure 4A est une vue en perspective d'un tube en plastique FRP avec une fente formée suivant un angle d'inclinaison,
- 20 • la figure 4B est une vue en perspective montrant une étape d'insertion d'un tube en plastique FRP dans un tube en métal,
- 25 • la figure 4C est une vue en perspective d'un tube en métal dans lequel a été inséré un tube en plastique FRP,
- la figure 5A est une vue en perspective d'un tube en plastique FRP muni de rainures axiales et d'une fente,
- la figure 5B est une vue en perspective d'une étape d'insertion d'un tube en plastique FRP dans un tube en métal,
- 30 • la figure 5C est une vue en perspective d'une étape d'insertion d'un tube en plastique FRP dans un tube en métal,
- 35 • la figure 5D est une vue de bout correspondant à la situation de la figure 5C,

- la figure 6 est une vue en perspective montrant le tube en métal de la figure 5C dont les deux extrémités ont reçu des éléments d'axe, soudés,
- la figure 7A est une vue en perspective d'un tube en plastique FRP muni d'une fente et de rainures à sa périphérie,
- la figure 7B est une vue en perspective d'un tube en plastique FRP avec une fente et des parties en creux,
- la figure 8A est une vue en perspective d'un tube en métal dont les deux extrémités ont été dilatées,
- la figure 8B est une vue en coupe longitudinale du tube en métal de la figure 8A,
- la figure 8C est une vue en perspective d'un tube en métal dans lequel a été inséré un tube en plastique FRP,
- la figure 8D est une coupe longitudinale correspondant à la figure 8C,
- la figure 9 est une vue extérieure d'un arbre d'hélice,
- les figures 10A, 10B montrent chacune un arbre intermédiaire d'un arbre d'entraînement.

Description détaillée des modes de réalisation préférentiels de l'invention:

Certains modes de réalisation préférentiels de l'invention seront décrits ci-après pour expliciter l'invention ; il s'agit d'arbres d'hélice de véhicule et de manière caractéristique d'arbres de transmission de puissance bien que l'invention ne soit pas limitée à de tels exemples caractéristiques. Le procédé de martelage a été appliqué à tous les modes de réalisation pour évaluer la rigidité en torsion des arbres. On a déterminé si les valeurs mesurées résultantes de la fréquence de torsion naturelle étaient égales ou supérieures à 130 Hz (il s'agit de l'équivalent du nombre critique de rotations pour une vitesse de rotation de 7800 t/min), lorsque les arbres fléchissent, leurs deux extrémités étant tenues.

Exemple 1

On a d'abord préparé un tube en fer 10 (en fer STKM13B, d'un diamètre extérieur de 80 mm, d'une épaisseur de paroi de 1,6 mm et d'une longueur de 1,2 m) comme représenté à la figure 1A. On a également préparé un tube en plastique

FRP, 20A avec une fente (diamètre extérieur 80 mm ; épaisseur de paroi 2,3 mm ; longueur 1 m ; largeur de la fente 4 mm) comme le montre la figure 3A. On a appliqué un adhésif (Penguin Cement #1081L, marque Sunstar R&D Inc) à l'intérieur du tube en fer 10. On a tiré pour former un tube en plastique FRP 20. Au cours de cet étirage, on a imprégné le tube en plastique FRP 20 avec des faisceaux de fibres de carbone CF, de type PAN (Pyrofil TRH50 - marque de Mitsubishi Rayon Co., Ltd) avec un module d'élasticité de $30 \times 1000 \text{ kgf/mm}^2$ (294 GPa) et une résine de durcissement à base d'époxy comme fibres de renforcement (40 parties de Epikote 1001, marque de Yuka-Shell Epoxy Co., Ltd, 32 parties de Epikote 828, marque de Yuka-Shell Epoxy Co., Ltd, 14 parties de époxy Sumi ELM 120 marque de SUMITOMO CHEMICAL CO., LTD, et 14 parties de 4,4-diaminodiphénylsulfone). Puis, comme représenté à la figure 3E, on a déformé élastiquement le tube en plastique FRP 20A avec une fente, le long de sa périphérie, puis on l'a inséré dans le tube en fer 10 jusqu'à la partie centrale de celui-ci (voir figure 3C). Puis comme représenté à la figure 6, on a soudé des éléments d'arbre 3, 4 aux deux extrémités du tube en fer 10. On a alors soumis le tube en fer 10 à une peinture cuite (à 180°C pendant une heure) pour obtenir un arbre intermédiaire d'arbre d'hélice. Le tube en plastique FRP 20A s'est alors collé solidairement à l'intérieur du tube en fer 10 sous l'effet du traitement thermique de cuisson de la peinture.

L'arbre intermédiaire résultant était tenu aux deux extrémités. Puis on a appliqué le procédé de martelage pour mesurer la fréquence de torsion naturelle de l'arbre ; on a trouvé une fréquence égale à 175 Hz (équivalente au nombre critique de rotations égal à 10500 t/min). On a estimé dans ces conditions que cet arbre pouvait s'utiliser valablement comme arbre intermédiaire pour des arbres d'hélice.

Dans les exemples 2 à 4 suivants et dans l'exemple de comparaison, on a utilisé des tubes en fer, des fibres et des résines d'imprégnation (matrices de résines) identiques à ceux de l'exemple 1.

Exemple 2

On a réalisé un tube en fer 10A dont les deux extrémités ont des parties de diamètre augmentées 12 par déformation plastique comme représenté à la figure 8. On a fabriqué un tube en plastique FRP 20A par étirage et on a réalisé une fente comme représenté à la figure 3A (80 mm de diamètre extérieur, 2,3 mm d'épaisseur de paroi et 1 m de longueur, et 4 mm de largeur de fente). Le tube en plastique FRP 20A a été déformé élastiquement le long de sa périphérie, puis inséré jusqu'à la partie centrale du tube en fer 10A (figure 8C). Puis comme représenté à la figure 6, on a soudé les éléments d'arbre 3, 4 aux deux extrémités du tube en fer 10A, puis on a cuit la peinture (à 180°C pendant une heure) pour former un arbre intermédiaire pour des arbres d'hélice. Comme dans ce qui précède, le tube en plastique FRP 20A a collé solidairement à l'intérieur du tube en fer 10A à cause du traitement thermique de cuisson de peinture. L'arbre intermédiaire résultant était tenu aux deux extrémités. On a appliqué ainsi un procédé de martelage pour mesurer la fréquence de torsion naturelle de l'arbre et on a trouvé une fréquence de 175 Hz (fréquence équivalente au nombre critique de tours égal à 10500 t/min). Cet arbre a été ainsi considéré comme utilisable comme arbre intermédiaire d'arbre d'hélice.

Exemple 3

On a réalisé un tube en plastique FRP 20A par étirage et on l'a muni d'une fente comme représenté à la figure 3A (diamètre extérieur 80 mm ; épaisseur de paroi 2,3 mm ; longueur 1 m ; largeur de la fente 4 mm). On a déformé élastiquement le tube en plastique FRP 20A suivant sa périphérie pour l'insérer jusqu'à la partie médiane du tube en fer 10 comme le montre la figure 1A (voir également la figure 3C). Puis, on a étiré mécaniquement les deux extrémités du tube en métal 10 pour bloquer le tube en plastique FRP 20A inséré dans ce tube (figure 2C). Puis comme le montre la figure 6, on a soudé des éléments d'arbre 3, 4 aux deux extrémités du tube en métal 10 et on a soumis l'ensemble à une cuisson de peinture (à une température de 180°C pendant une heure) pour former un arbre intermédiaire pour des arbres

d'hélice. L'arbre intermédiaire résultant était tenu aux deux extrémités. Puis, on a appliqué le procédé de martelage pour mesurer la fréquence de torsion naturelle de l'arbre. On a trouvé une fréquence de 175 Hz (fréquence équivalente au nombre critique de tours de 105000 t/min). Cet arbre a été considéré comme suffisamment utilisable en pratique comme arbre intermédiaire d'arbre d'hélice.

Exemple 4

Le tube en plastique FRP 20, cylindrique a été obtenu par étirage comme représenté à la figure 1B (diamètre extérieur 80, épaisseur de paroi 2,3 mm, longueur 1 m). Puis, on a frété le tube en plastique FRP 20 jusqu'à la partie médiane dans le tube en fer 10 selon la figure 1A (diamètre extérieur 80 mm, épaisseur de paroi 1,6 mm et longueur 1,2 m) (figure 2B). Puis, on a étiré mécaniquement les deux extrémités du tube en métal 10 pour bloquer le tube en plastique FRP introduit dans celui-ci (figure 2C). Puis, comme représenté à la figure 6, on a soudé les embouts d'arbre 3, 4 aux deux extrémités du tube en métal 10 et on a cuit la peinture (à 180°C pendant une heure) pour obtenir un arbre intermédiaire d'arbre d'hélice. L'arbre intermédiaire obtenu était tenu à ses deux extrémités. Puis, on a appliqué un procédé de martelage pour mesurer la fréquence de torsion naturelle de l'arbre. On a trouvé 175 Hz équivalents à un nombre de tours critique de 10500). Cet arbre a été considéré comme suffisamment utilisable comme arbre intermédiaire d'arbre d'hélice.

Exemple de comparaison

Des embouts d'arbre ont été soudés aux deux extrémités du tube en fer 10 (figure 1A) (diamètre extérieur 80 mm, épaisseur de paroi 1,6 mm, longueur 1,20 m). Puis, on a soumis le tube en fer 10 à une cuisson de la peinture (à 180°C pendant une heure) pour obtenir un arbre intermédiaire comme arbre d'hélice. L'arbre intermédiaire résultant a été tenu aux deux extrémités, puis soumis à un procédé de martelage pour mesurer la fréquence de torsion naturelle de l'arbre et on a trouvé 120 Hz ; cette fréquence est équivalente au nombre critique de tours de 7200 t/min). Cet arbre a

été considéré comme insuffisant en rigidité en torsion pour servir d'arbre intermédiaire pour des arbres d'hélice.

Il découle de manière évidente de la description précédente que l'arbre de transmission de puissance selon la présente invention peut utiliser le soudage qui est solide et permet une grande fiabilité à long terme pour les éléments de liaison entre l'arbre composé en plastique FRP et les éléments de liaison métalliques. Cela permet d'utiliser l'arbre dans des véhicules équipés de joints homocinétiques. L'arbre peut également s'utiliser de manière préférentielle comme arbre de transmission de puissance non seulement dans des véhicules mais également des bateaux, dans de nombreuses machines de l'industrie et dans les avions.

L'arbre de transmission de puissance selon la présente invention garantit une grande fiabilité de résistance de liaison pour les véhicules ; il est léger et de faible encombrement. L'arbre selon l'invention présente une surface métallique à sa périphérie extérieure, ce qui permet de corriger l'équilibrage et de peindre dans des lignes de fabrication existantes. De plus pendant le fonctionnement effectif des véhicules, l'arbre selon l'invention a les mêmes caractéristiques de résistance au piquage (caractéristiques de résistance à l'abrasion) et de résistance à la corrosion par l'eau salée que les arbres d'hélice usuels.

En particulier, lorsqu'on réalise le tube en plastique FRP par étirage, on obtient des arbres de transmission de puissance de faible coût par comparaison à ceux obtenus par le procédé d'enveloppement. C'est pourquoi le procédé d'enveloppement de feuilles préimprégnées, de feuilles rétractables et le procédé de rétraction des enroulements ainsi que les procédés de prise des préimprégnations (traitement thermique) peuvent être supprimés grâce à l'invention.

R E V E N D I C A T I O N S

- 1°) Arbre de transmission de puissance composé d'un tube en métal et d'éléments de liaison métalliques, caractérisé en ce qu'
- 5 il comporte un tube en plastique renforcé par des fibres, inséré dans le tube en métal.
- 2°) Arbre selon la revendication 1, caractérisé en ce que
- 10 le tube en matière plastique renforcé par des fibres est obtenu par étirage pour avoir une paroi mince et un grand diamètre et ce tube est frété dans le tube en métal.
- 3°) Arbre selon la revendication 1, caractérisé en ce que
- 15 le tube en plastique renforcé par des fibres a une configuration de couches ne comprenant pas plus de vingt couches.
- 4°) Arbre selon la revendication 1, caractérisé en ce que
- 20 le tube en plastique renforcé par des fibres comporte une fente qui ne représente pas moins de 0,01 % et ne dépasse pas 40 % de la périphérie extérieure du tube, en largeur, à l'état naturel.
- 25 5°) Arbre selon la revendication 4, caractérisé en ce que la fente a un angle d'inclinaison de +/- 30 degrés par rapport à la direction axiale du tube en plastique renforcé par des fibres.
- 30 6°) Arbre selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce que le rapport $D1/D2$ est supérieur à 1 et inférieur à 1,3, rapport dans lequel $D1$ est le diamètre extérieur du tube en plastique renforcé par des fibres et $D2$ est le diamètre intérieur du tube en métal.
- 35

- 7°) Arbre selon la revendication 1,
caractérisé en ce que
le tube en plastique renforcé par des fibres est incorporé
dans le tube en métal, puis on contracte la périphérie exté-
rieure du tube en métal en réduisant son diamètre par défor-
mation plastique pour permettre au tube en plastique renforcé
par des fibres et au tube en métal de se bloquer l'un
l'autre.
- 8°) Arbre selon la revendication 1
caractérisé en ce que
le tube en plastique renforcé par des fibres et le tube en
métal sont bloqués l'un à l'autre par un adhésif.
- 9°) Arbre selon la revendication 8,
caractérisé en ce que
le tube en plastique renforcé par des fibres est prévu sur la
périphérie extérieure avec des parties pour former des zones
d'adhésif entre le tube en métal et le tube en plastique ren-
forcé par des fibres, après incorporation du tube en plasti-
que renforcé par des fibres dans le tube en métal.
- 10°) Arbre selon la revendication 8,
caractérisé en ce que
les parties qui forment les zones pour l'adhésif sont réali-
sées préalablement dans des parties de périphérie intérieures
du tube en métal.
- 11°) Arbre selon la revendication 10,
caractérisé en ce que
son rapport FL/PL n'est pas inférieur à 0,1 et pas supérieur
à 1,0, rapport dans lequel PL est la longueur du tube en mé-
tal et FL est la longueur du tube en plastique renforcé par
des fibres.
- 12°) Arbre selon la revendication 1,
caractérisé en ce que

le rapport t_2/t_1 n'est pas inférieur à 0,01 et non supérieur à 10, rapport dans lequel t_1 est l'épaisseur de paroi du tube en métal et t_2 l'épaisseur de paroi du tube en plastique renforcé par des fibres.

5

13°) Arbre selon la revendication 1
caractérisé par

un module d'élasticité en traction des fibres de renforcement
utilisées pour le tube en plastique renforcé par des fibres
10 qui n'est pas inférieur à 20000 kfg/mm².

14°) Arbre selon la revendication 1
caractérisé en ce que

les fibres de renforcement utilisées pour le tube en plasti-
15 que renforcé par des fibres sont des fibres de carbone de
type PAN d'un diamètre non inférieur à 1 μ m et non supérieur
à 20 μ m.

15°) Arbre selon la revendication 1

20 caractérisé en ce que

les fibres de renforcement utilisées dans le tube en plasti-
que renforcé par des fibres sont des fibres de carbone à base
de bas mésophase.

Fig. 1A

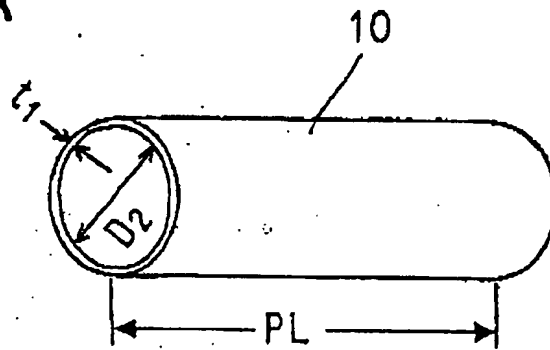


Fig. 1B

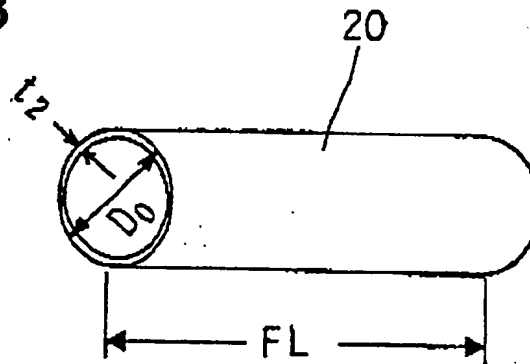


Fig. 2A

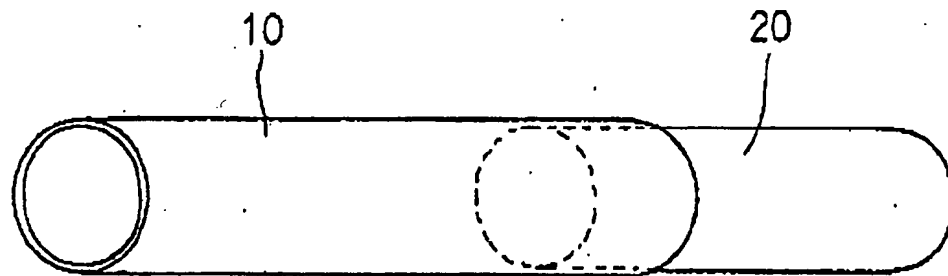


Fig. 2B

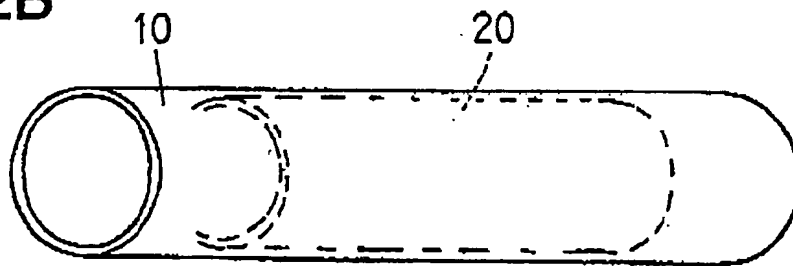


Fig. 2C

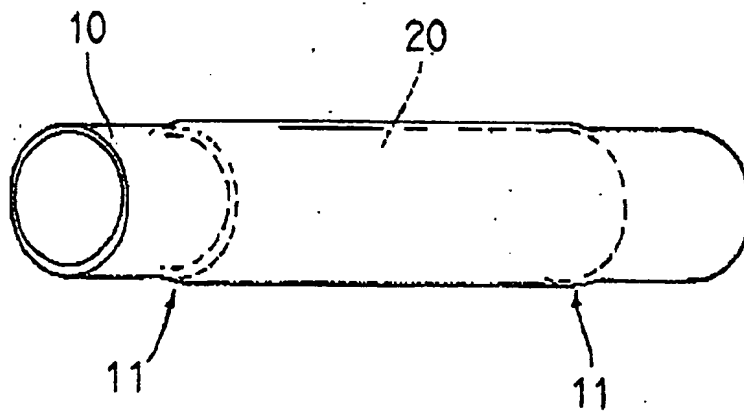


Fig. 3A

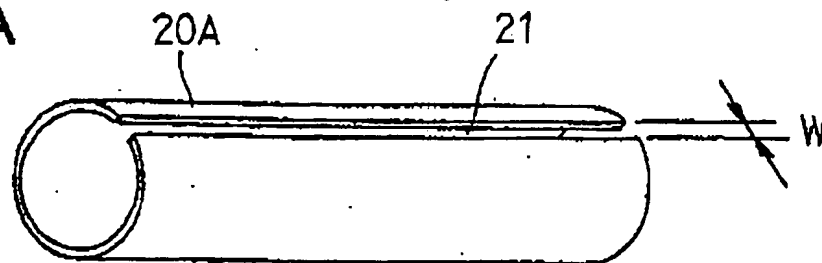


Fig. 3B

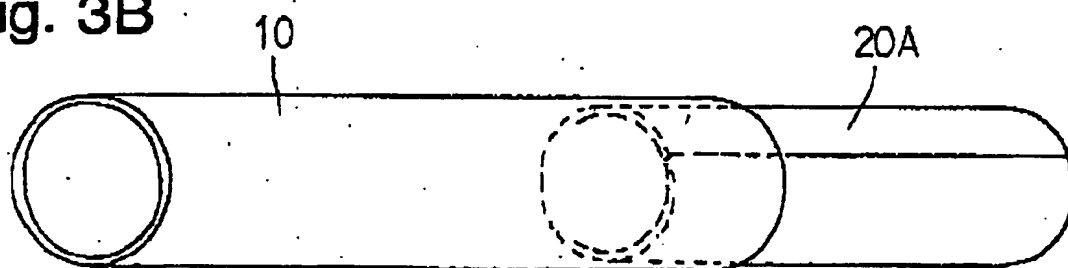


Fig. 3C

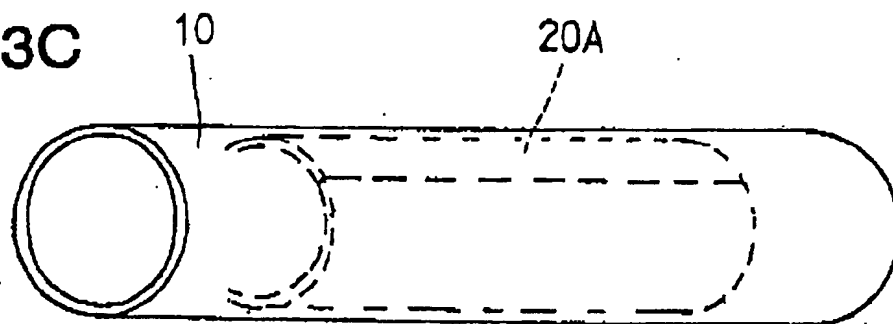


Fig. 3D

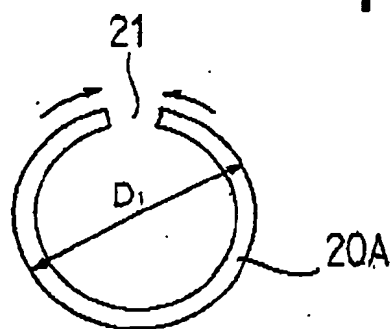


Fig. 3E

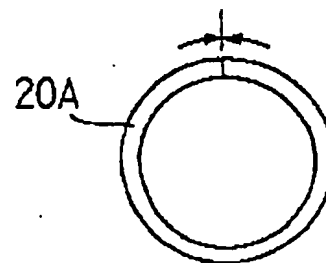


Fig. 4A

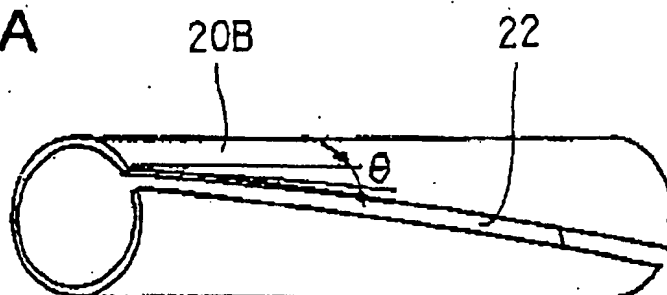


Fig. 4B

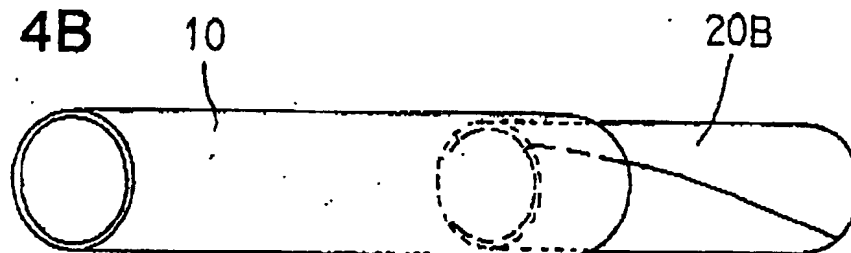


Fig. 4C

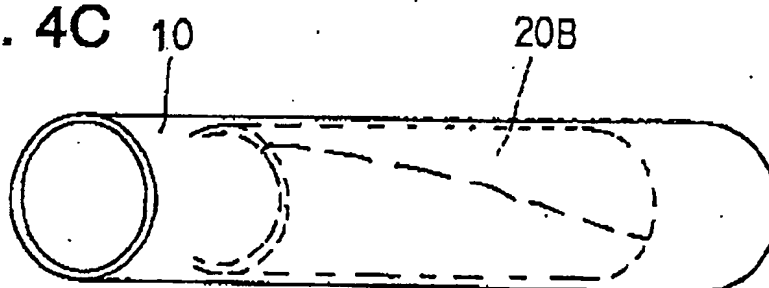


Fig. 5A

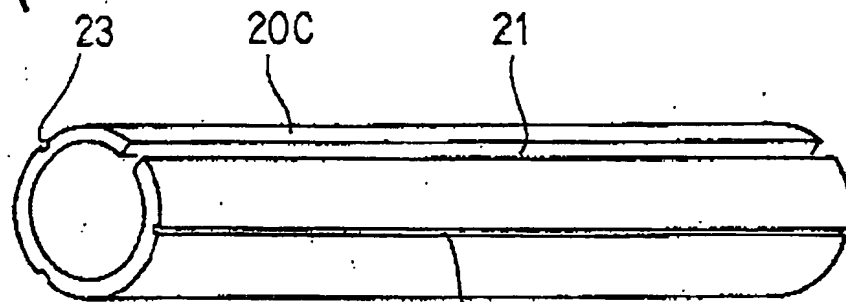


Fig. 5B

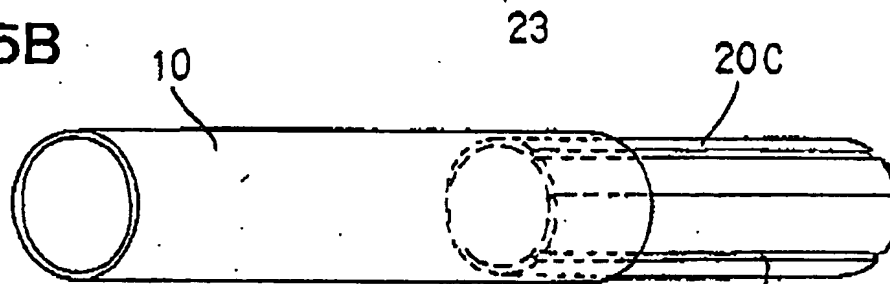


Fig. 5C

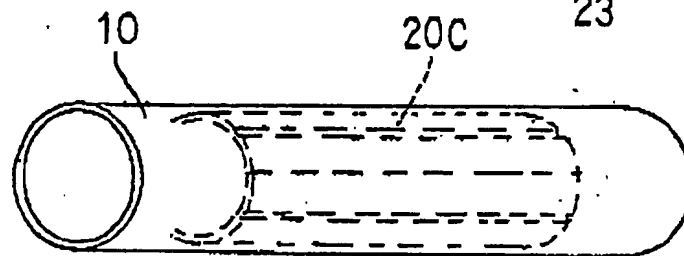


Fig. 5D

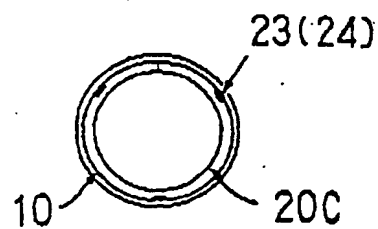


Fig. 6

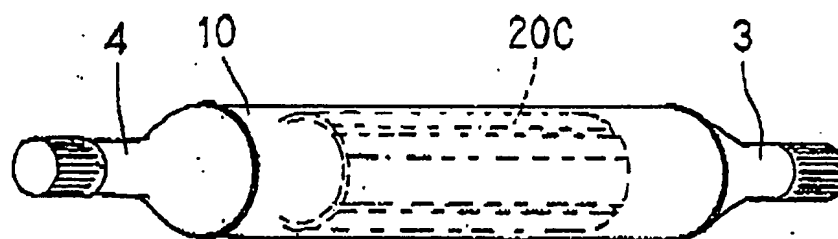


Fig. 7A

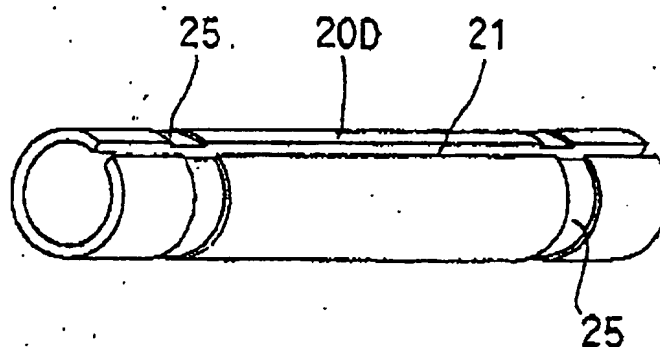
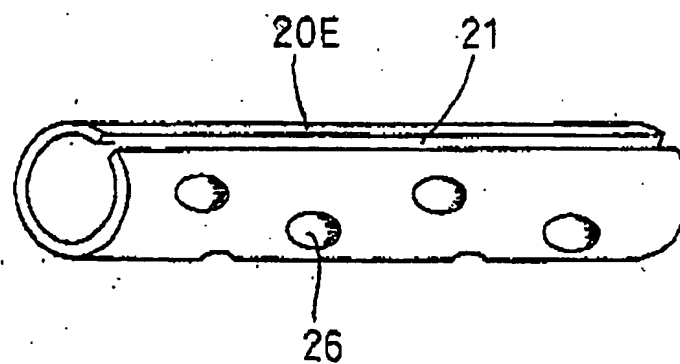


Fig. 7B



7/9

Fig. 8A

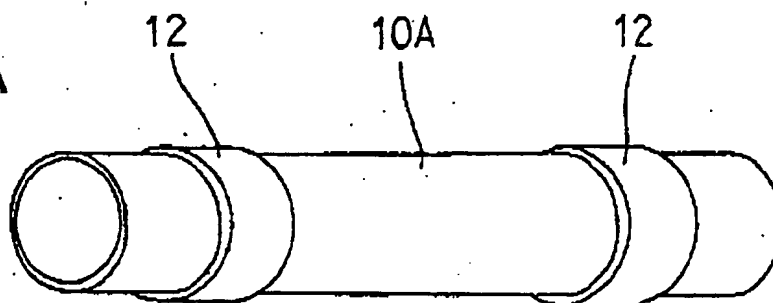


Fig. 8B

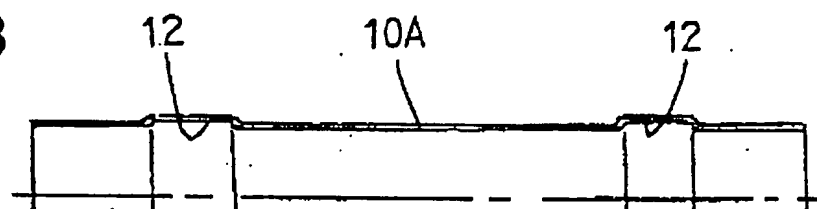


Fig. 8C

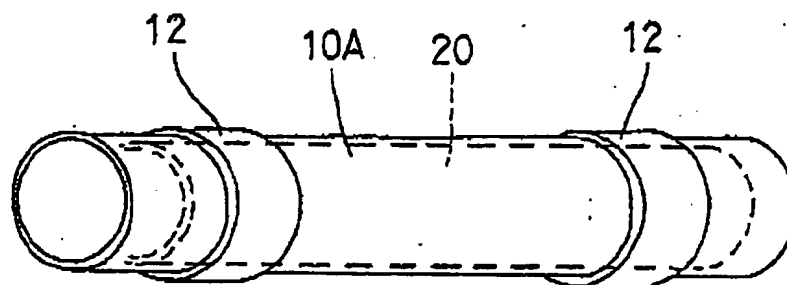
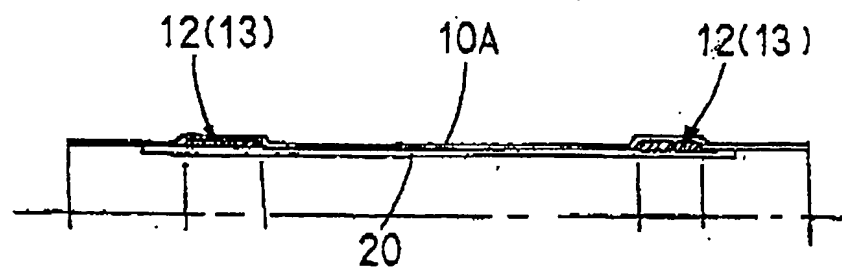
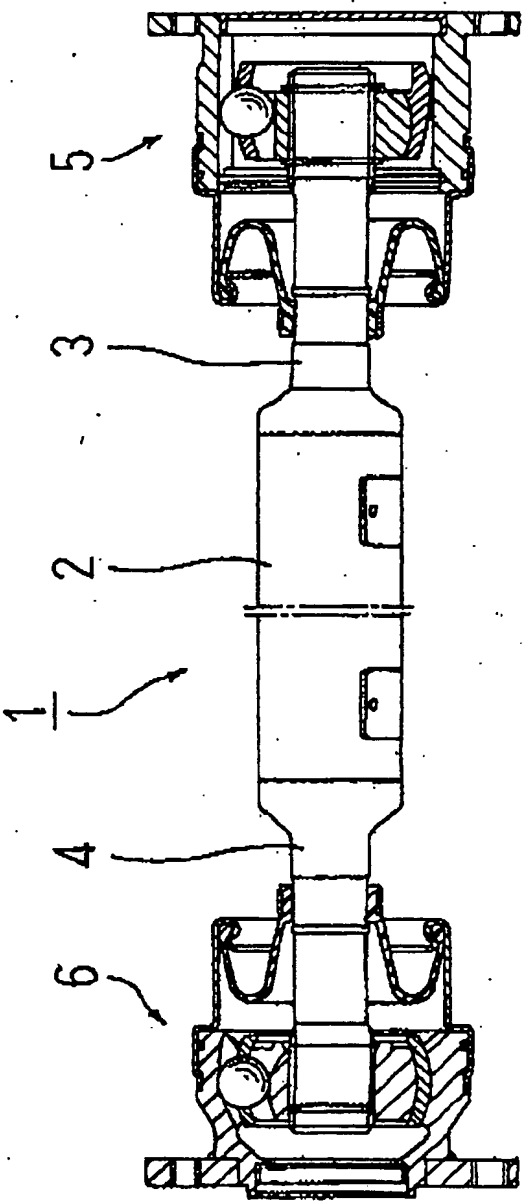


Fig. 8D



8/9

Fig. 9



9/9

Fig. 10A

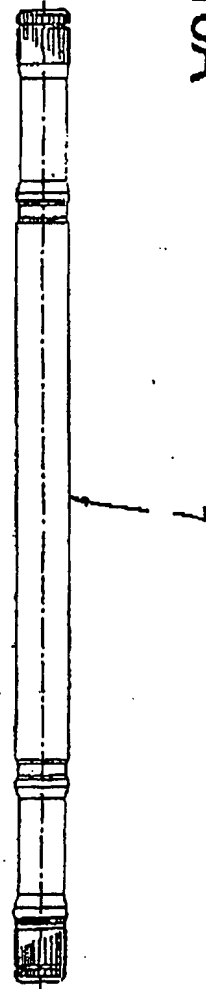
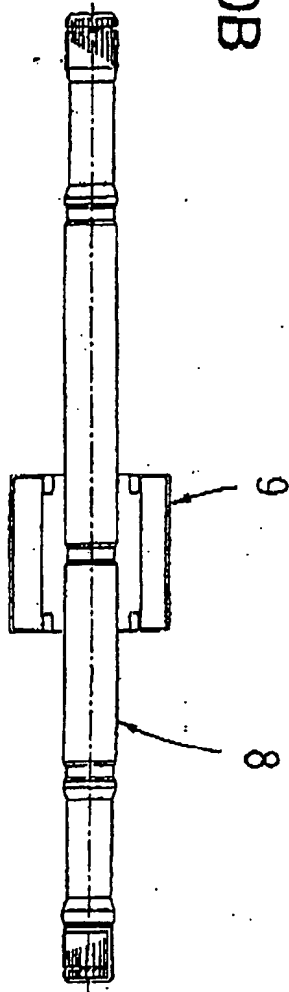


Fig. 10B



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.